

УДК 666.97:69.059

СУЧАСНИЙ МОДИФІКОВАНИЙ БЕТОН ДЛЯ РЕМОНТУ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

О.В. КОВАЛЕНКО, канд. тех. наук
Інститут водних проблем і меліорації НААН

Проаналізовано сучасні методи створення та застосування модифікованих бетонів з високими технологічними та фізико-механічними властивостями. Наведено результати досліджень властивостей бетону, модифікованого полікарбосилатним суперпластифікатором, метакаоїном, полімерним латексом та поліпропіленовою фіброю та визначено перспективу його застосування як матеріалу для ремонту та реконструкції гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного комплексу.

Ключові слова: модифікований бетон, самоущільнювальний бетон, добавки-модифікатори, фізико-механічні властивості, технологічні властивості, експериментально-статистичні моделі

Актуальність проблеми. Переважна частина гідротехнічних споруд (ГТС) водогосподарсько-меліоративного комплексу (ВМК) під дією зовнішнього середовища зазнала різного роду руйнувань і перебуває в обмежено працездатному стані. Тому актуальним є питання ремонту та реконструкції таких споруд з метою підвищення їх експлуатаційної надійності та експлуатаційного ресурсу.

При ремонті та реконструкції ГТС часто виникає потреба проведення бетонних робіт. Традиційний бетон не завжди відповідає сучасним техніко-економічним вимогам, тому актуальним є покращення його технологічних та фізико-механічних властивостей. Одним із напрямків підвищення будівельно-технічних властивостей бетону є його модифікація хімічними та мінеральними добавками. Застосування хімічних добавок є одним із найбільш універсальних, доступних та гнучких способів управління технологією бетону та регулювання його властивостей. Науково обґрунтоване застосування добавок дозволяє вирішити технологічні задачі, які пов'язані з одержанням бетонів із заданими властивостями. Висока міцність, низька проникність, підвищена морозостійкість і довговічність можуть бути досягнуті шляхом застосування високорухомих сумішей, які містять сучасні хімічні та мінеральні добавки.

Хімічні добавки, за образом висловом В.Г. Батракова, ключ до вирішення технологічних проблем [1]. Він відмічає, що досягнуті результати і можливість удосконалення властивостей і технології бетону показують, що в цій області є значні резерви і перспективи подальшого удосконалення бетону як матеріалу з унікальними властивостями [2, 3]. На думку В.Б. Ратинова, при використанні добавок-модифікаторів відкриваються

надзвичайно великі можливості в керуванні довговічністю бетону [4].

Аналіз попередніх досліджень. Наукові основи модифікування будівельних матеріалів сформульовані академіком П.А. Ребіндером та його школою [5]. Досить повне уявлення про теорію і практику модифікування бетонів дає монографія Батракова В.Г. [1].

На сучасному етапі, завдяки застосуванню хімічних та мінеральних модифікуючих добавок, бетон перетворюється на складний багатокомпонентний композиційний матеріал [6]. Основним завданням сучасної технології багатокомпонентних бетонів є створення високоякісного штучного каменю, що відрізняється малою дефектністю і однорідністю структури. При введенні в бетонну суміш додаткових складових і їх модифікацій можуть бути створені різні якісні бетони:

- при введенні заповнювачів оптимальної гранулометрії та різних мінеральних наповнювачів – високоміцний бетон;
- при введенні дисперсних волокнистих матеріалів та комплексу хімічних добавок – надміцний фібробетон;
- при введенні полімерних складових – полімерцементний бетон ремонтно-гідроізоляційного призначення;
- при введенні нанокластерів вуглецю – високоміцний нанобетон;
- при введенні суперпластифікаторів з високодисперсними наповнювачами (органомінеральних добавок) та використанні заповнювачів оптимальної гранулометрії – самоущільнювальний бетон;

В основі зміни властивостей бетонів, у результаті дії добавок-модифікаторів, лежать складні колоїдно-хімічні та фізичні явища, що відбуваються в цементній системі, і які врешті-решт відображаються на фазовому складі,

пористості, міцності та довговічності цементного каменю [3].

Розроблені та підтверджені практикою наукові основи модифікування бетонів добавками-модифікаторами зіграли вирішальну роль у розвитку технології бетону. Значний прогрес у цьому напрямку пов'язаний із застосуванням комплексних органо-мінеральних модифікаторів (ОММ), які складаються із суперпластифікаторів останнього покоління на полікарбоксилатній основі та високодисперсних активних мінеральних добавок (мікрокремнезем, метакаолін) [7]. Застосування ОММ призвело до створення самоущільнювального бетону (СУБ) з високою міцністю [8, 9].

Самоущільнювальна бетонна суміш (СУБС) – це суміш, яка без дії на неї зовнішньої ущільнюючої енергії під дією власної маси тече, вивільнюється від повітря, яке в ній знаходиться, та повністю заповнює простір, що бетонується. Рухомість СУБС за діаметром розпливу конуса складає ≥ 550 мм. СУБС здатна самопливом заповнювати великі каверни та порожнини в тілі конструкції без ущільнення вібраторами. Застосування СУБС має ряд переваг: спрощення робіт з бетонування, можливість бетонування густоармованих конструкцій, менша кількість дефектів при укладанні бетонної суміші, скорочення термінів бетонування.

Використання СУБС доцільно в таких випадках :

- при бетонуванні на значній висоті або на воді, коли процес ущільнення вкрай утруднений і небезпечний для персоналу;
- при бетонуванні густоармованих конструкцій, де звичайна суміш не може проникнути в усі місця, що призводить до виникнення дефектів та передчасної корозії;
- при бетонуванні конструкцій складної геометричної форми, а також конструкцій, до яких пред'являються підвищені вимоги щодо якості зовнішньої поверхні бетону;
- при бетонуванні труднодоступних конструкцій споруд, де необхідно подавати велику кількість бетонної суміші.

Рецептура компонентів для приготування СУБС у різних країнах різна, але скрізь вона базується на концепції японського професора Окамури [8]. Суть концепції полягає в таких положеннях:

- насипний об'єм заповнювача крупної фракції повинен бути не більше 50% об'єму бетону;
- об'ємна частина піску в розчині повинна складати 40%;

– наявність у складі суміші дрібного пило-видного наповнювача;

– наявність у складі суміші та підвищена витрата суперпластифікатора;

– підвищена витрата цементу.

Як мікронаповнювач застосовують мелений вапняк, зольний пил та активні мінеральні добавки (мікрокремнезем, метакаолін). Як суперпластифікатори найбільш часто застосовують ефіри полікарбоксилатів, як найбільш ефективні водоредуруючі сполуки.

Оптимальне сполучення органо-мінеральних добавок-модифікаторів, а при необхідності суміщення з ними інших органічних та мінеральних матеріалів дозволяє управляти реологічними властивостями бетонних сумішей та модифікувати структуру цементного каменю на макрорівні так, щоб надати бетону властивості, які забезпечують експлуатаційну надійність та довговічність споруд [10].

Дослідження СУБС активно продовжуються. Розробка нових модифікацій СУБС з широким діапазоном технологічних властивостей, на основі яких можна одержати бетон з високими фізико-механічними властивостями, на сьогодні є актуальною науково-практичною задачею. Одним із перспективних напрямків такої модифікації може бути застосування полімерних латексів та поліпропіленової фібри, які дозволяють підвищити фізико-механічні властивості цементних композитів [11].

Мета дослідження – розробити рецептуру СУБ, модифікованого органо-мінеральними та полімерними добавками для ремонту та відновлення залізобетонних конструкцій ГТС, дослідити вплив нових модифікуючих добавок на реологічні властивості СУБС та на фізико-механічні властивості СУБ.

Методика досліджень. Досліджували вплив полімерного латексу та поліпропіленової фібри на рухомість СУБС та на фізико-механічні властивості бетону на їх основі при постійних значеннях водоцементного відношення (В/Ц), вмісту полікарбоксилатного суперпластифікатора останнього покоління та вмісту метакаоліну : міцність при стиску f_{cm}^{cube} , міцність при згині f_{ctd} , адгезійну міцність f_{adg} , ударну міцність f_{imp} , водопоглинання W_m . У дослідженнях застосовували матеріали: портландцемент ПЦ І-500 виробництва ВАТ «Волинь-цемент», щебінь гранітний фракції 5-10 Коростенського кар'єру, пісок річковий Дніпровський з модулем крупності $M_{кр}=1,43$, метакаолін (МТК) виробництва ТОВ «Мета-Д», полікарбоксилатний суперпластифікатор (СП) марки Adium 150, порошковий

полімерний латекс (ПЛ) марки Neolith P 4400. Бетонні суміші готували з використанням ручного електроміксера в три етапи: спочатку перемішували сухі компоненти протягом 5 хв., потім готували рідку фазу, перемішуючи воду і суперпластифікатор. На кінцевому етапі суміш сухих компонентів перемішували з рідкою фазою протягом 5 хв. Витрата цементу для всіх зразків становила 450 кг/м³, піску – 940 кг/м³, щебеню – 940 кг/м³. Вміст метакроліну для всіх сумішей складав 10% від маси цементу, вміст суперпластифікатора – 1,6% від маси цементу, В/Ц=0,42. Бетонні зразки формували методом наливу сумішей у відповідні форми.

Рухомість бетонних сумішей визначали за діаметром розпливу конуса згідно ДСТУ Б В.2.7-114:2002 Суміші бетонні. Методи випробувань; міцнісні показники бетону – згідно ДСТУ Б В.2.7-214: 2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками; водопоглинання – згідно ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.

Бетонні зразки-балочки розміром 4x4x16 см і куби розміром 7,07x7,07x7,07 см витримували в нормально-вологих умовах протягом 28 діб. Дозування добавок розраховували по відношенню до маси цементу.

Дослідження проводили з застосуванням методу математичного планування експерименту з використанням плану В₂. Умови планування експерименту наведено в табл. 1.

Результати досліджень. Матриця планування експерименту та результати випробувань наведено в табл. 2.

У результаті реалізації плану експерименту отримано експериментально-статистичні (ЕС) моделі, які виражають вплив рецептури на рухомість бетонних сумішей та на фізико-механічні властивості бетону:

$$PK = 607 + 35x_1 - 192x_2 - 14x_1^2 - 19x_2^2 + 5x_1x_2 \quad (1)$$

$$f_{cm\ cube} = 40,7 - 2,2x_1 + 1,9x_2 + 0,8x_2^2 \quad (2)$$

$$f_{ctd} = 10,1 + 0,35x_1 + 0,55x_2 - 0,09x_1^2 - 0,49x_2^2 \quad (3)$$

$$f_{adg} = 3,3 + 0,6x_1 + 0,4x_2 - 0,05x_1^2 - 0,15x_2^2 - 0,03x_1x_2 \quad (4)$$

$$f_{imp.} = 0,24 + 0,03x_1 + 0,04x_2 - 0,04x_1^2 - 0,02x_2^2 - 0,015x_1x_2 \quad (5)$$

$$W_m = 3,94 - 0,67x_1 - 0,36x_2 + 0,15x_1^2 + 0,39x_2^2 + 0,25x_1x_2 \quad (6)$$

Графічне зображення моделей 1-6 наведено на рис. 1-3.

Як видно із даних, наведених у табл. 1, реологічні властивості ПСФБС та фізико-механічні властивості бетонів на їх основі в залежності від рецептури коливаються в широких межах: рухомість – від 340 до 800 мм, міцність при стиску – від 38,4 до 45,5 МПа, міцність при згині – від 8,6 до 10,5 МПа, адге-

1. Умови планування експерименту

Фактори рецептури	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
X ₁ , вміст латексу, % від маси цементу	2,5	5,0	7,5	2,5
X ₂ , вміст фібри, % від маси цементу	0	0,3	0,6	0,3

2. Матриця планування експерименту та результати випробувань

№ досліджу	Матриця плану в кодах		Матриця плану в натуральних величинах		Розплив конуса РК, мм	Міцність при стиску f _{cm cube} , МПа	Міцність при згині f _{ctd} , МПа	Адгезійна міцність, f _{adg} , МПа	Ударна міцність f _{imp} , Дж/см ²	Водопоглинання W, %
	X ₁	X ₂	Вміст ПЛ	Вміст ПФ						
1	1	1	7,5	0,6	420	41,2	10,5	4,2	0,28	3,53
2	1	-1	7,5	0	785	37,8	9,3	3,3	0,14	3,87
3	-1	1	2,5	0,6	340	45,5	8,8	2,9	0,18	4,67
4	-1	-1	2,5	0	725	42,2	8,6	2,1	0,10	6,0
5	1	0	7,5	0,3	640	38,4	10,4	3,9	0,25	3,60
6	-1	0	2,5	0,3	570	42,8	9,7	2,7	0,19	4,38
7	0	1	5,0	0,6	400	43,7	10,1	3,6	0,25	4,08
8	0	-1	5,0	0	800	38,9	9,2	2,8	0,23	4,47
9	0	0	5,0	0,3	600	40,2	10,1	3,3	0,21	4,13

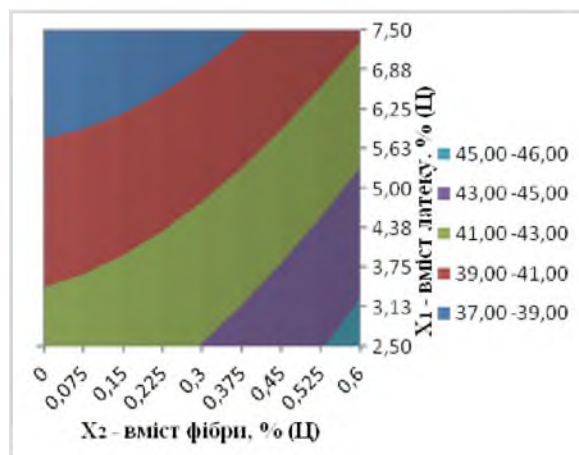
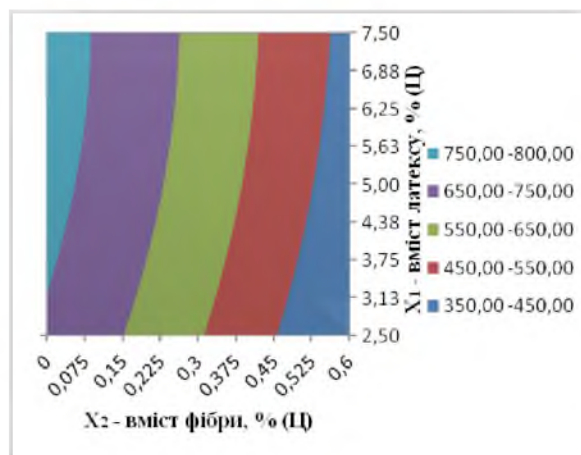


Рис. 1. Вплив латексу та поліпропіленової фібри на рухомість СУБС (а) та на міцність при стиску (б) СУБ

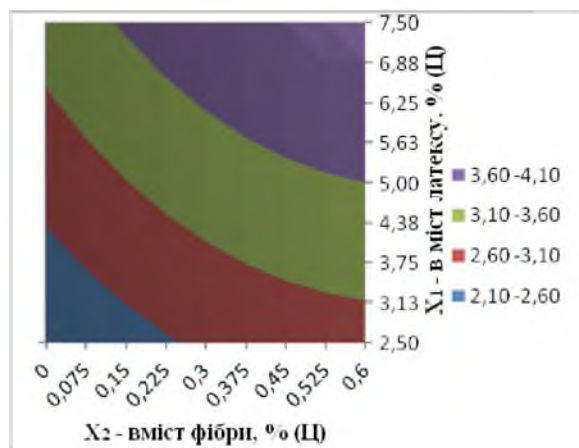
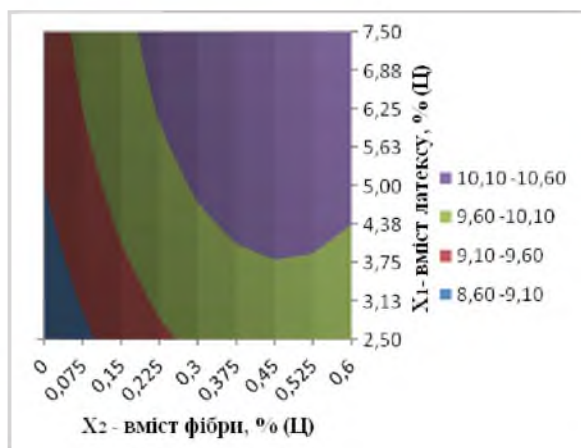


Рис. 2. Вплив латексу та поліпропіленової фібри на міцність при згині (а) та на адгезійну міцність (б) СУБ

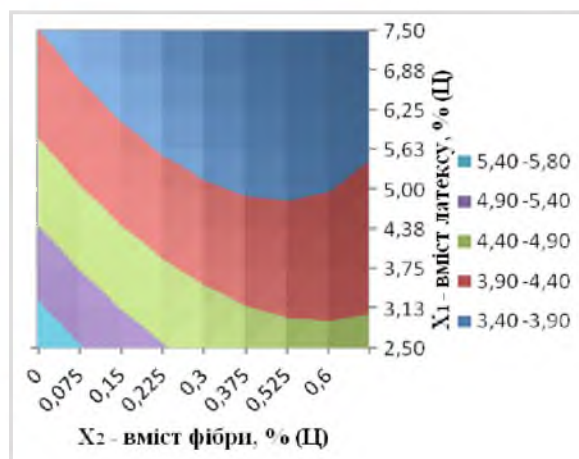
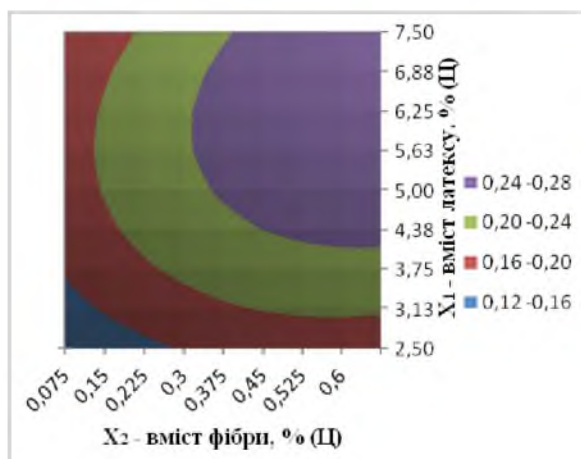


Рис. 3. Вплив латексу та поліпропіленової фібри на ударну міцність (а) та на водопоглинання (б) СПФБ

зійна міцність – від 2,1 до 4,2 МПа, ударна міцність від 0,10 до 0,28 Дж/см³.

Водопоглинання – від 3,53 до 6,0 %. Аналіз моделей 1-6 показує, що полімерний латекс позитивно впливає на рухомість бетонних сумішей та на міцність при згині, адгезійну міцність, ударну міцність бетону. Міцність при стиску та водопоглинання бетону при введенні латексу в бетонну суміш знижуються. Поліпропіленова фібра позитивно впливає на міцнісні показники бетону, її вплив на рухомість бетонних сумішей та на водопоглинання бетону негативний.

Аналіз діаграми 1а показує, що рецептура, яка забезпечує необхідну рухомість СУБС (РК ≥ 550 мм), обмежена ізолініями, що відповідають вмісту полімерного латексу 2,5-7,5% від маси цементу при вмісті поліпропіленової фібри $\leq 0,3\%$ від маси цементу. Аналіз діаграм 1б та 2б показує, що міцність при стиску та адгезійна міцність бетону в цій області рецептур складає 37-41 МПа та 2,1-4,1 МПа відповідно, що згідно DIN EN 1504-3:2006 відповідає класу R3 матеріалу на цементній основі, призначеного для конструкційного ремонту бетонних конструкцій ($f_{cm cube} \geq 25$ МПа, $f_{adg} \geq 1,5$ МПа). Таким вимогам відповідає бетонна суміш складу (кг на 1м³ бетону):

- портландцемент М500 – 450;
- щебінь фр. 5-10 – 940;
- пісок Мкр 1,43 – 940;

- метакаолін «Мета Д» – 45;
- суперпластифікатор Adium-150 – 7,2;
- латекс Adiplast – 11,25 – 33,75;
- поліпропіленова фібра – 0,68 – 1,35;
- вода – 189.

Висновок. Розроблено рецептуру модифікованого самоущільнювального бетону для ремонту та реконструкції гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного комплексу. Досліджено вплив полімерного латексу (в межах 2,5-7,5% від маси цементу) та поліпропіленової фібри (в межах 0-0,6%) при вмісті метакаоліну «Мета Д» в суміші 10% від маси цементу, вмісті суперпластифікатора «Adium-150» 1,6% від маси цементу, В/Ц=0,42. Встановлено, що полімерний латекс позитивно впливає на рухомість бетонних сумішей та на міцність при згині, адгезійну міцність, ударну міцність бетону. Міцність при стиску та водопоглинання бетону при введенні латексу в бетонну суміш знижуються. Поліпропіленова фібра позитивно впливає на міцнісні показники бетону, її вплив на рухомість бетонних сумішей та на водопоглинання бетону негативний. Встановлено, що самоущільнювальний полімерцементний фібробетон досліджуваних рецептур відповідає класу R3 матеріалу на цементній основі, призначеного для конструкційного ремонту бетонних та залізобетонних конструкцій.

Бібліографія

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. – М.: Технопроект. – 1998. – 768 с.
2. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности / В.Г. Батраков // Материалы 1-й Всерос. конф. по проблемам бетона и железобетона. – М.: Ассоциация «Железобетон», 2001. – Кн. 1. – С. 184-209.
3. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы / В.Г. Батраков // Строительные материалы. – 2006. – С. 4-8.
4. Ратинов В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Г.И. Розенберг М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.
5. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур / П.А. Ребиндер. – М.: «Наука», 1966, с. 3-16.
6. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашникова. – М.: Изд-во Ассоциации вузов, 2006. – 368 с.
7. Саницький М.А. Самоущільнювальні бетони з комплексними органічно-мінеральними добавками / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, І.І. Кіракевич // Сучасні бетони. Перспективи розвитку: Матеріали II Міжнар. конф. – К.: 2010. – С. 18-22.
8. Okamura H., Ozawa K. Mix design for self-compacting concrete // Concrete Library of the JSCE. 1995. – № 2. – Рр. 107-120.
9. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete // Advanced Concrete Technology. 2003. – № 1. – Рр. 5-15.
10. Модифицированные бетоны в практике современного строительства / В.Г. Батраков, С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Е.С. Силина // Промышленное и гражданское строительство. – 2002. – № 9. – С. 23-25.

11. Коваленко О.В. Вплив латексу та поліпропіленової фібри на властивості цементно-піщаного розчину / О.В. Коваленко, Є.Б. Мандрик // Будівельні матеріали, вироби і санітарна техніка. – 2012. – № 45 – С. 22-25.

А.В. Коваленко

Современный модифицированный бетон для ремонта и реконструкции гидротехнических сооружений

Проанализированы современные методы создания и применения модифицированных бетонов с высокими технологическими и физико-механическими свойствами. Приведены результаты исследований свойств бетона, модифицированного поликарбоксилатным суперпластификатором, метакеолином, полимерным латексом и полипропиленовой фиброй и определены перспективы его применения в качестве материала для ремонта и реконструкции гидротехнических сооружений водохозяйственно-мелиоративного комплекса.

A.V. Kovalenko

Modern modified concrete for repair and reconstruction of hydraulic structures

The modern state in the field of creation and application of modified concrete with high technological and physical-mechanical properties is analyzed. The results of studies of the properties of concrete modified with polycarboxylate superplasticizer, metakaolin, polymer latex and polypropylene fiber are described and prospects of its use as a material for repair and reconstruction of hydraulic structures of the water management and meliorative complex are determined.